第41卷 第11期
2024年11月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 41 No. 11
Nov. 2024

干旱区土地利用变化对耕地空间的影响及预测
——以昌吉市为例

苏泽琛， 邵战林

（新疆农业大学公共管理学院（法学院），新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要：研究土地利用变化对耕地空间的影响，为优化土地利用格局，加强耕地保护提供参考。基于2000—2020年5期土地利用数据，引入土地利用变化强度分析框架、PLUS模型和空间自相关分析方法，探究昌吉市未来土地利用变化对耕地空间的影响。结果表明：昌吉市土地利用类型以草地、耕地、未利用地为主，耕地和建设用地呈持续增长的变化趋势，林草地向耕地和建设用地、耕地向建设用地的转换是昌吉市土地利用变化的主要特征；在转换强度上，各地类与耕地的转换强度存在明显差异，耕地与建设用地之间转入与转出强度均高于平均转换强度，其用地转换会对区域土地利用覆被结构产生较大影响；PLUS模型模拟结果显示，自然发展情景、耕地保护情景和可持续发展情境下，耕地面积分别减少36.21 km^2、增加28.19 km^2、减少25.66 km^2，可持续发展情景更能兼顾经济发展与耕地保护的双重诉求；耕地格局变化具有明显的空间集聚特征，且以高-高集聚为主，主要分布在中部的榆树沟镇、二六工镇、大西渠镇以及主城区西南部的三工镇，不同情景下高-高集聚的空间分布基本类似，但类型数量存在差异。最后从协调耕地保护与经济发展、优化用地空间布局等方面提出相关建议，研究结果为干旱区绿洲城市平衡经济发展与耕地保护关系提供参考。

关键词：城镇化；耕地保护；强度分析；PLUS模型；空间自相关；昌吉

民以食为天，食以农为源，农以土为本，耕地是保障国家粮食安全的重要基础。城镇化发展离不开土地的支撑，城郊耕地面临数量减少、质量下降、景观破碎的风险[1]，优质耕地尤其是永久基本农田保护形势严峻[2]。有学者研究发现，1987—2000年建设占用耕地面积11314.16 km^2，占耕地减少面积的45.96%；2000—2010年建设占用耕地面积20530.46 km^2，占耕地减少面积的55.44%，工业化和城镇化发展过程中建设占用是耕地减少的主要原因[3]。绿洲城镇是干旱地区人类活动剧烈、“人-地”关系紧张的生态环境脆弱区[4]。如何协调经济社会发展与耕地保护的关系，是干旱区城镇实现可持续发展面临的重要问题。

昌吉市位于“丝绸之路经济带”核心区，城镇化发展潜力较大，境内建有新疆昌吉国家农业高新技术产业示范区，农业生产作用突出[5]。已有关于干旱区土地利用的研究更多的集中在城镇用地扩张的规律探究[6-8]、用地扩张驱动因素分析[9-11]、城市化与耕地保护协同关系研究[12]、城镇化发展与景观格局变化[13-14]等方面。目前关于土地利用变化对耕地空间影响的相关研究更多的集中在经济发达地区，较少有学者以西北干旱区为例开展相关研究，并且从情景模拟角度出发，研究未来土地利用变化对耕地空间的影响。通过模拟预测未来用地格局，识别耕地转换热点地区，可以为科学划定耕地功能分区，制定耕地分区保护策略提供参考。在未来用地格局模拟方面，PLUS模型应用最为广泛，且在景观格局、位置和数量方面精度较高[15]，对西北干旱区土地利用模拟研究的适用性更强。目前关于PLUS模型的应用，更多的是耦合InVEST模型，基于用地格局变化，研究碳储量[16-18]、生态系统服务价值[19-21]、生境质量[22-24]的时空演变规律，缺少对耕地与其他地

收稿日期：2024-05-28； **修订日期：**2024-07-24
基金项目：新疆维吾尔自治区第三次全国国土调查领导小组办公室第三次全国国土调查成果专项《新疆耕地变化分析》（NO-2020.（XY）158-2）；新疆社科基金项目（18BJY036）
作者简介：苏泽琛（2000-），男，硕士研究生，主要从事耕地保护相关研究. E-mail: 2394275045@qq.com
通讯作者：邵战林. E-mail: 944872210@qq.com

类转换信息的进一步挖掘。

科学认识并预测未来土地利用变化对耕地的影响，对协调经济社会发展与耕地保护关系具有重要意义。本文使用2000—2020年5期土地利用数据，基于土地利用转移矩阵分析地类转换的一般特征，使用土地利用强度分析框架测算各地类与耕地的转换强度，分析土地利用变化对区域用地结构的影响，随后引入PLUS模型，模拟未来不同情景下的用地格局，使用空间自相关分析方法，识别耕地转换热点地区，以期为加强耕地保护，实现干旱区绿洲城镇可持续发展提供参考。

1　研究区概况与方法

1.1　研究区概况

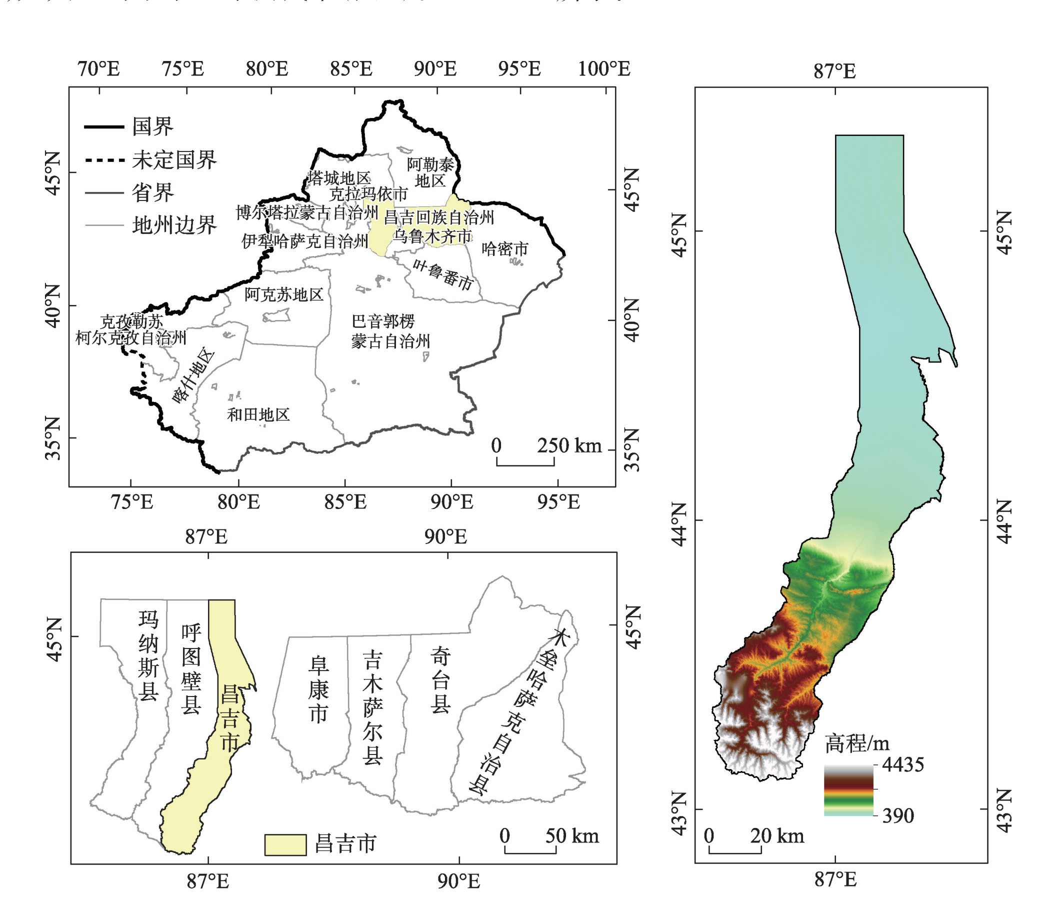
昌吉市地处天山北麓、亚欧大陆腹地、准噶尔盆地南缘，东邻自治区首府乌鲁木齐市，位于"丝绸之路经济带"核心区，市域面积7970.98 km²，地势南高北低，山地、平原、沙漠呈阶梯状分布，属大陆性干旱气候，是典型的干旱区绿洲城市（图1）。2020年昌吉市总人口3.88×10⁵人，常住人口城镇化率达到70.8%，城市建成区面积67.7 km²，城市化水平较高。第三次全国国土调查成果显示，昌吉市现有耕地面积901.4 km²，是昌吉州乃至全疆重要的粮食产区。新疆自贸区乌鲁木齐片区的规划建设将为昌吉市工业化、城镇化发展带来更多机遇，如何协调未来经济社会发展与耕地保护的关系，是昌吉市实现可持续发展面临的重要问题。

1.2　数据来源

研究使用的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心，精度为30 m；驱动因子数据来源如表1所示，以下数据均经过投影变换、重采样处理，分辨率统一为30 m×30 m。

1.3　研究方法

1.3.1　土地利用转移矩阵　土地利用转移矩阵具有时空的量化性特征，使用土地利用转移矩阵得到昌吉市2000—2020年地类转换的数量和方向，分析昌吉市土地利用变化的一般规律。计算方法如下式所示：



注：底图采用自然资源部标准地图绘制，审图号为GS(2023)2767号，对底图边界无修改。下同。

图1　研究区概况图

Fig. 1　Overview map of the study area

表1 PLUS模型影响因子数据来源

Tab. 1 PLUS model impact factor data sources

类型	数据名称	分辨率	来源
土地利用数据	土地利用数据	30 m	中国科学院资源与环境数据中心(https://www.resdc.cn)
自然因素数据	高程、坡度、坡向	250 m	地理空间数据云(https://www.gscloud.cn)
	年均温度、降水	1 km	中国科学院资源与环境数据中心(https://www.resdc.cn)
	土壤类型	1 km	
社会经济数据	人口、GDP	1 km	中国科学院资源与环境数据中心(https://www.resdc.cn)
可达性数据	距居民点的距离	30 m	OpenStreeMap(http://www.openstreetmap.ch),使用ArcGIS计算欧式距离
	距城市道路的距离	30 m	
	距高速、国道、省道、县道、铁路的距离	30 m	
	距河流的距离	30 m	

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中:S表示土地面积(km^2);i和j分别表示转换前、后的土地利用类型;n为土地利用类型数量(个)。

1.3.2 *土地利用变化强度分析* 土地利用变化强度分析框架可用于分析地类转换对区域土地利用覆被结构的影响,是对土地利用转移矩阵信息的进一步挖掘。本研究使用耕地与其他地类的相对转换强度和平均相对转换强度进一步分析耕地与其他地类的转换关系,计算方法和参数设定参考杨建新等[25]、李帅呈等[26]的研究成果。

1.3.3 *未来土地利用格局模拟* PLUS模型集成了用地扩张分析策略的规则挖掘框架和基于多类型随机种子的CA模型,可以充分挖掘各地类变化的诱因并模拟斑块级的土地利用变化。结合土地利用转移矩阵和强度分析框架反应的信息,通过调整地类之间的转移概率设定自然发展、耕地保护、可持续发展三种情景,预测未来用地格局,为昌吉市优化用地结构,制定合理的用地策略提供参考,情景设定方法如下:

(1) 自然发展情景。自然发展情景基于2015—2020年的土地利用变化发展趋势,使用马尔可夫模型预测各地类用地规模,该情景也是耕地保护情景、可持续发展情景的对比基础。

(2) 耕地保护情景。坚持"藏粮于地"目标,加强耕地保护,减少非农建设对耕地的占用。参考已有研究成果[27-28],在自然发展情景的基础上,将耕地向建设用地的转移概率降低60%,草地和未利用地向耕地的转移概率提高40%,以此保证耕地面积。

(3) 可持续发展情景。可持续发展情景寻求经济发展、耕地保护和生态效益的统一,草地具有重要的生态功能且在维持干旱区城镇各用地数量平衡方面发挥重要作用,综合考虑昌吉市的区位优势、未来发展机遇和土地利用变化特征,在自然发展情景的基础上,将耕地向建设用地的转移概率降低20%,草地向建设用地的转移概率降低10%,统筹经济发展、耕地保护和生态安全。

(4) 邻域权重设置。邻域权重表示各地类的扩张能力,取值范围为0~1,值越大表示扩张能力越强。驱动因子与土地利用变化之间关系复杂,使得扩张强度难以直接计算,有学者研究发现,各地类历史过程中的扩张规模是对各自扩张能力的最好体现[29]。本文借鉴该参数设定方法,对研究期内各地类扩张面积进行标准化处理,以此为基础经多次调试,得到最终的邻域权重如表2所示。

1.3.4 *耕地不稳定热点分析* 使用全局空间自相关和局部空间自相关分析昌吉市耕地空间格局变化的空间集聚特征。全局空间自相关用于判断耕地格局空间变化是否存在集聚特征,局部空间自相关反应整个研究区域局部研究单元与邻近研究单元的同一属性的相关程度,反应局部研究单元之间相同或不同的变化趋势,全局莫兰指数和局部莫兰指

表2 不同发展情景下邻域权重设定

Tab. 2 Neighborhood weighting under different development scenarios

发展情景	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
自然发展情景	0.680	0.356	0.250	0.371	0.850	0.400
耕地保护情景	0.707	0.389	0.200	0.401	0.538	0.557
可持续发展情景	0.694	0.386	0.200	0.397	0.538	0.557

数的计算分别见公式(2)和公式(3)。

$$\text{Moran'}I=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(Y_i-\bar{Y}\right)\left(Y_j-\bar{Y}\right)}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i-\bar{Y}\right)\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}} \tag{2}$$

$$\text{Moran'}I=\frac{\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\left(Y_i-\bar{Y}\right)\left(Y_j-\bar{Y}\right)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\frac{\left(Y_i-\bar{Y}\right)}{(n-1)}}} \tag{3}$$

式中:$\bar{Y}$ 为 Y_i 的平均值;i、j 表示不同研究单元;Y_i 和 Y_j 表示研究单元 i 和 j 内耕地潜在转出比例;W_{ij} 为空间权重。莫兰指数取值范围为[-1,1],指数为正,表示正相关,绝对值越接近1,表示相关性越强,反之亦然,指数为0表示不相关。

2　结果与分析

2.1　土地利用结构特征

昌吉市土地利用空间分布呈现明显的垂直特性,草地、耕地、未利用地由南向北梯次分布,约占昌吉市总面积的90%以上,林地、建设用地和水域占比较少(图2)。耕地主要分布在中部的冲积平原,草地和林地主要分布在天山山脉北坡,未利用地位于北部深入古尔班通古特沙漠,城市建设用地被耕地三面环绕。2000—2020年耕地和建设用地面积整体呈增长趋势,草地面积呈现先增加后减少的变化趋势,未利用地与之相反,林地和水域面积明显减少。耕地转入的主要来源是草地和未利用地,分别转入210.65 km²和143.92 km²;建设用地转入的主要来源是耕地和草地,分别转入88.76 km²和51.63 km²;草地面积2010年最大为4139.22 km²而后有所下降但整体呈增长趋势,转入主要来源是林地和未利用地,分别转入402.37 km²和174.39 km²;林地和水域面积明显减少,林地转出的主要方向是草地和耕地,转出至耕地的面积为31.83 km²,水域转出的主要方向是未利用地,转出面积为131.92 km²;未利用地转入的主要来源是草地和水域,其中由草地转入的面积为251.39 km²(表3)。林地、草地等生态用地向耕地、建设用地转换以及耕地与建设用地之间的转换是昌吉市土地利用变化的主要趋势,符合土地利用系统变化的一般规律。

2.2　耕地转换强度

通过土地利用转换强度分析框架,分析地类转换对土地利用覆被结构的影响。各地类对耕地的转入强度分别为0.27%、0.30%、0.32%、1.44%和0.31%,平均转入强度为0.54%(图3)。转换强度高低受地类面积基数影响较大,草地和未利用地向耕地的转移面积最大,但由于面积基数较大,导致耕地从草地和未利用地获得转入的强度均低于平均强度,建设用地向耕地转移数量较少,但由于面积基数较小,导致建设用地向耕地的转入强度明显高于平均转入强度。耕地向各地类的转出强度分别为0.00%、0.11%、0.47%、2.23%和0.01%,平均转出强度为0.56%。在绝对数量上,耕地和草地向建设

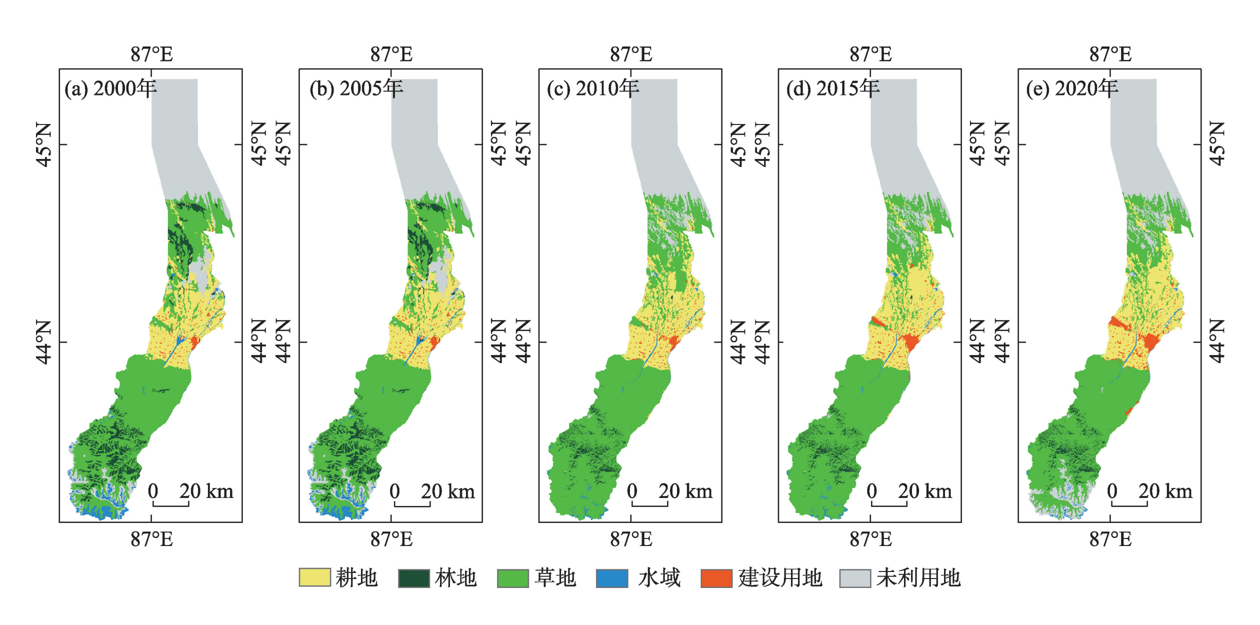


图2　2000—2020年昌吉市多时期土地利用格局

Fig. 2　Multi-period land-use patterns in Changji City, 2000–2020

表3 2000—2020年土地利用转移矩阵

Tab. 3 Land use transfer matrix 2000-2020 /km²

土地利用类型		2020年							
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	汇总	转出总量
2000年	耕地	1050.13	0.00	80.97	6.28	88.76	3.31	1229.45	179.32
	林地	31.83	145.10	402.37	0.00	1.44	10.49	591.24	446.13
	草地	210.65	55.63	2943.63	6.00	51.63	251.39	3518.93	575.30
	水域	14.89	0.02	27.82	50.31	5.01	131.92	229.98	179.66
	建设用地	22.85	0.00	5.46	0.53	50.68	0.00	79.15	28.84
	未利用地	143.92	0.00	174.39	3.34	1.21	1999.01	2321.87	322.86
	汇总	1474.26	200.75	3634.64	66.47	198.74	2396.12	7970.98	1732.11
	转入总量	424.14	200.75	691.01	16.15	148.05	397.11	1732.11	

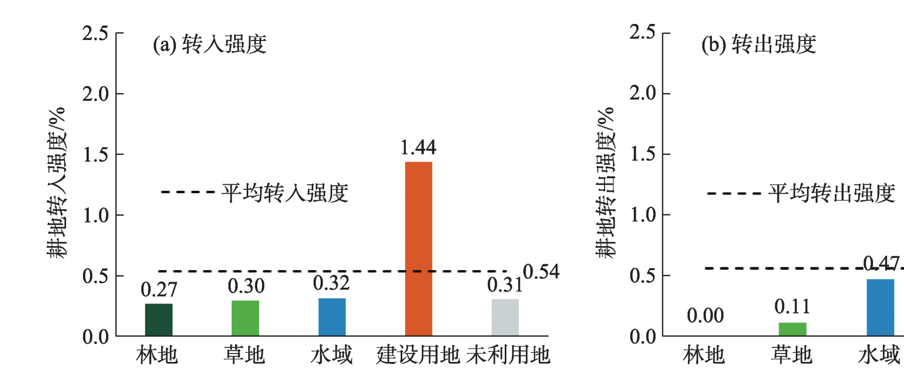


图3 昌吉市土地利用转换强度

Fig. 3 Intensity of land use change in Changji City

用地的转移面积最大，相比于草地，耕地面积基数较小，导致其向建设用地的转出强度明显高于平均水平。昌吉市主城区被耕地环绕，建设用地扩张往往更倾向于占用主城区周边自然条件较好、交通便利、建设占用成本较低的耕地。通过强度分析框架识别地类之间相互转化对区域土地利用覆被结构的影响，综合考虑面积基数和空间布局，耕地与建设用地之间的转换应当是昌吉市未来土地利用过程中应重点关注的地类转换关系。

2.3 土地利用多情景模拟结果

2.3.1 土地利用多情景模拟结果对比 研究以2015年的土地利用数据为基础，结合土地利用变化驱动因子和各地类发展潜力数据，不断调整模型参数，得到2020年的模拟结果，并对比2020年真实的土地利用结果，Kappa系数为0.832，整体精度达到88.78%，模拟精度较高。通过PLUS模型模拟2030年昌吉市3种发展情景的土地利用情况，各地类用地需求量如表4所示，多情景模拟结果如图4所示。

在自然发展情景下，耕地、林地、草地、水域均呈现减少趋势，降幅分别为-2.46%、-2.66%、-15.37%、-12.15%，未利用地面积增加，建设用地扩张明显，累计增加74.61 km²，增幅达37.54%。在不设置限制因素的情况下，为满足经济社会发展的用地需求，近郊区耕地和草地被大量占用，对区域粮食安全、生态安全构成较大威胁。

在耕地保护情境下，耕地面积得到了最大保

表4 2030年不同发展情景下用地需求预测

Tab. 4 Projected land use demand under different development scenarios in 2030 /km²

发展情景	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总面积
自然发展情景	1438.05	195.41	3076.10	58.40	273.34	2929.68	7970.98
耕地保护情景	1502.45	195.23	3050.76	58.32	240.61	2923.62	7970.98
可持续发展情景	1448.60	195.45	3081.06	58.36	257.16	2930.35	7970.98

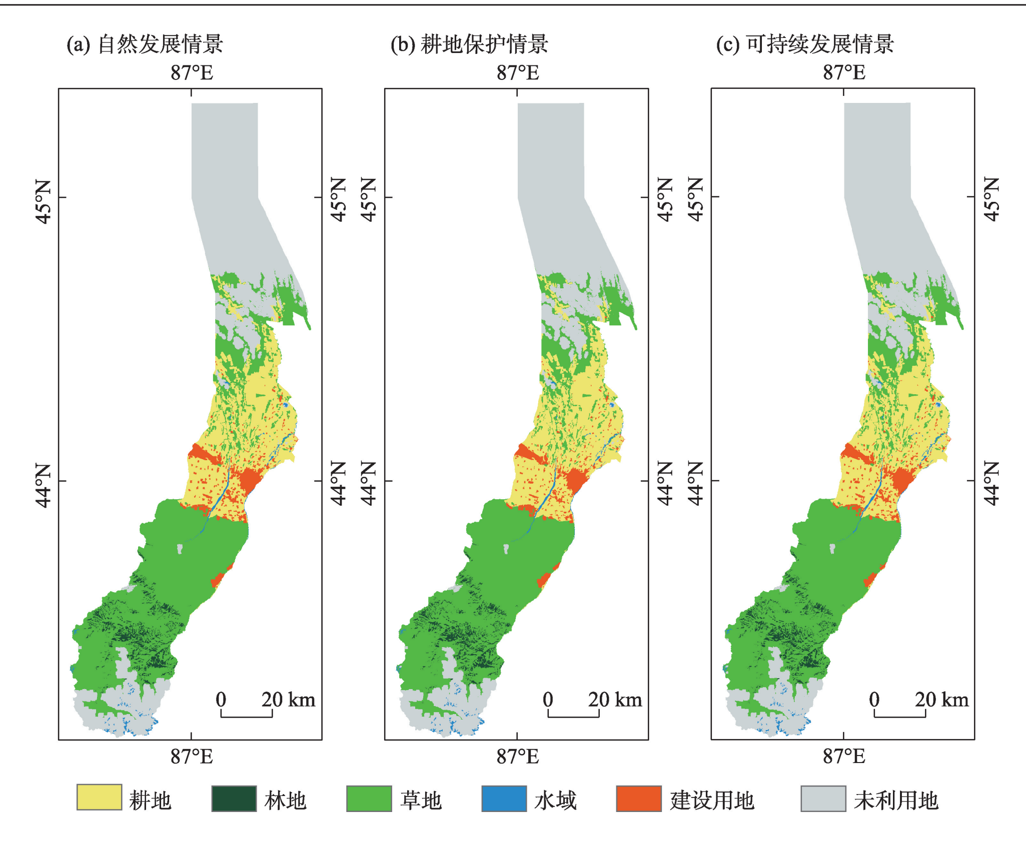


图4 2030年多情景土地利用模拟结果

Fig. 4 Multi-scenario land use simulation results for 2030

障，增加28.19 km²，增幅为1.91%，建设用地增长更多的来源于林地、草地、水域等生态用地，使得林地、草地、水域的下降幅度均大于自然发展情景，降幅分别为-2.75%、-16.06%、-12.27%，表明耕地保护情景能有效遏制建设用地扩张对耕地的占用，但是对生态用地的占用不利于区域生态保护和经济社会可持续发展。

在可持续发展情景下，耕地、林地、草地面积分别减少25.65 km²、5.29 km²、553.59 km²，降幅分别为-1.74%、-2.64%、-15.32%，耕地下降速度有所放缓，建设用地增量为58.42 km²，介于自然发展情景和耕地保护情景之间，未利用地数量与耕地保护情景基本相同。整体而言，可持续发展情景综合自然发展情景与耕地保护情景用地特征，能够兼顾经济社会发展与耕地保护，有利于实现区域可持续发展。

2.3.2 建设用地扩张影响因素分析 土地利用时空格局变化是自然和社会经济因素综合作用的结果，从自然地理条件、经济社会发展、交通可达性三个方面选取用地扩张的驱动因子，基于PLUS模型的LESA模块，分析用地扩张的驱动因素，建设用地扩张的驱动力大小排序为交通可达性>自然地理条件>经济社会发展。昌吉市耕地和适宜建设区重叠分布在中部的平原区域，该区域自然地理条件空间差异并不明显，因此自然地理条件对建设用地扩张驱动力较小。交通可达性要素中，驱动力最大的因子是距高速公路和铁路的距离，驱动力大小分别为0.153和0.150，作为“丝绸之路经济带”的重要节点城市，主城区西南部是未来产城融合发展片区、智慧物流片区的主要建设区域，便捷的货运交通是物流产业发展的必要条件，也使得该区域成为建设和用地扩张的热点区域。建设用地以外延扩张为主，社会经济因子对建设用地扩张驱动力相对较小，道路建设对未来建设用地扩张具有导向性作用。

2.4 耕地空间格局演变空间自相关分析

使用GeoDa软件，对比1 km、2 km、3 km、5 km空间自相关分析效果，选择2 km×2 km渔网作为基本评价单元，对评价单元内耕地潜在转移面积占现状耕地面积的比重进行空间自相关分析，三种情景下耕地空间格局演变全局莫兰指数分别为0.42、0.27、0.36，Z值分别为27.40、19.55、23.65，P值均小于0.05，表明昌吉市耕地空间格局演变具有空间正

相关性，可以进行局部空间自相关分析。

整体来看，昌吉市建设用地以外延式扩张为主，三种情景下耕地空间格局演变聚类特征空间分布较为相似(图5)，且均以高-高集聚和低-高集聚为主，但是不同情景下集聚类型数量存在差异(表5)。自然发展情景下的建设用地扩张能力最强，已有建成区和区位优势较大的地区建设用地扩张明显，因此呈现高-高集聚特征的研究单元最多，低-高集聚特征的研究单元最少。耕地保护情景下，耕地扩张能力增强，并降低了耕地向建设用地的转移概率，因此呈现高-高集聚特征的研究单元有所减少。可持续发展情景用地类型变化趋势与自然发展情景类似，但是变化幅度有所缓和，因此，呈现高-高集聚特征的研究单元数量介于自然发展情景和耕地保护情景之间。发生高-高集聚的地区主要包括主城区与高新技术开发区中间、自三屯河东岸连接主城区西南部以及榆树沟镇农业科技园区，这些地区地势平坦、人口相对集中、临近连霍高速、312国道等交通干线、受政府政策支持、区位优势明显，经济发展活跃，是未来建设用地扩张的主要区域。发生低-高集聚的地区主要包括主城区西北部和庙尔沟乡，在主城区西北部，交通路网、市政设施建设导致耕地破碎化明显，部分耕地在空间上已被建设用地包围，不利于城市成片开发，因此转出比例较小，呈现低-高集聚特征。庙尔沟乡北部低-高集聚区的耕地大多系人为开荒种植，用地类型较为稳定，但受到水资源短缺和风沙侵蚀影响，耕地退化风险较大，因此形成低-高集聚类型。

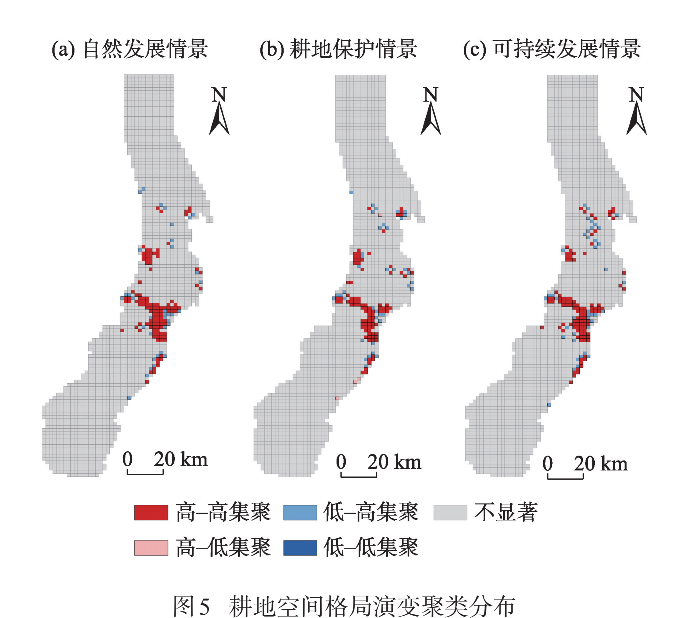


图5 耕地空间格局演变聚类分布

Fig. 5 Evolution of spatial patterns of arable land clustered distribution

表5 耕地格局演变集聚类型统计

Tab. 5 Statistics on the evolution of arable land patterns by type of agglomeration

集聚类型	自然发展情景/个	耕地保护情景/个	可持续发展情景/个
不显著	2045	2062	2049
高-高集聚	118	94	109
高-低集聚	0	4	0
低-高集聚	36	39	41
低-低集聚	0	0	0

3 讨 论

耕地保护关系国家粮食安全、生态安全和社会稳定。本研究面向未来土地利用演变趋势，探究干旱区绿洲城市昌吉市土地利用变化对耕地空间的影响，研究期内，建设用地转入的主要来源是草地和耕地，符合当前用地转换的一般规律，随着全球气候变暖和南部山区积雪融化，地表裸露导致未利用地增加，水域面积下降，昌吉市主城区被耕地环绕，城市建设更倾向于占用近郊耕地，但受耕地占补平衡政策的限制，政府会开垦草地以补充建设占用造成的耕地损失，这与李帅呈等[26]研究的兰西城市群土地利用变化有相似之处，说明西北干旱区的土地利用变化还具有区域特异性。使用强度分析框架进一步挖掘土地利用转移矩阵信息，土地利用覆被结构的变化受地类面积基数的影响，虽然草地和未利用地向耕地的转换面积累计达到354.57 km^2，但由于自身面积基数较大，该转换对区域土地利用覆被结构影响较小，耕地与建设用地之间的转换强度高于平均转换强度，该用地转换类型会对区域土地利用覆被结构产生较大影响。围绕昌吉市地类转换的主要类型，使用PLUS模型模拟未来不同情景下的用地需求，模拟整体精度和Kappa系数较高，说明PLUS模型在模拟干旱区土地利用模拟上具有良好的适用性，印证相关学者的已有研究成果[15]。

本文研究了未来土地利用变化对耕地空间的影响，仍存在一些局限性，由于土地利用行为的复杂性以及数据获取局限性，诸如区域政策规划、农户个人行为等因素未能考虑在内；应进一步开展耕地利用综合适宜性评价，开展耕地功能分区研究，解决近郊耕地的差异化利用问题，平衡经济社会发

展与耕地保护的关系。

基于本文研究结果,结合昌吉市土地利用现状,从"开源""节流"两个角度提出加强耕地保护的措施。首先,草地是耕地转入的重要来源,应当加强沙漠化防治和用地监管,严格禁止在沙漠边缘、农牧交错带、重要生态系统周边开荒种植,保护生态环境,防治草地退化,提前做好耕地"占补平衡"指标储备工作;其次应健全土地利用规划体系,通过分析土地资源利用现状、经济社会发展潜力、未来城市发展规划,科学预测土地需求,做好农村土地整理、工矿废弃地复垦、中低产田改造,挖掘城市存量土地,推动土地集约节约利用,减少对近郊优质耕地的占用。

4 结 论

本文选择昌吉市2000—2020年5期土地利用数据,通过土地利用转移矩阵、土地利用变化强度分析框架、PLUS模型和空间自相关分析方法,研究昌吉市土地利用变化特征并预测未来土地利用变化对耕地空间的影响,得出以下结论:

(1) 昌吉市作为干旱区绿洲城镇,土地利用以草地、耕地、未利用地为主,林草地向耕地、建设用地转换、耕地与建设用地之间的转换是昌吉市土地利用变化的主要形式,草地是耕地转入的主要来源,草地在维持区域用地平衡中发挥重要作用。

(2) 绝对数量上看,虽然耕地对建设用地的转入量和贡献率呈下降趋势,但仍维持在50%左右,是城市建设用地扩张的主要来源。从转换强度上看,虽然草地转换面积较大,但由于自身面积基数较大,其转换强度反而较低,而耕地与建设用地的转换强度明显高于平均转换强度,两者的转换会对区域土地利用覆被结构产生更为显著的影响。

(3)不同情境下各地类用地空间布局基本类似,受昌吉市南北狭长、东西偏窄的区划影响,建设用地以外延式扩张为主,扩张的方向是将东部主城区与西部高新技术开发区相连通,相比自然发展情景和耕地保护情景,可持续发展情景能够兼顾经济发展与耕地保护的双重诉求。

(4) 耕地格局演变空间自相关分析结果以高-高集聚和低-高集聚为主,高-高集聚主要分布在始于中部的榆树沟镇、二六工镇、大西渠镇以及主城区西南部的三工镇,低-高集聚主要分布在中北部的庙尔沟乡、主城区西北部,不同情景下,耕地转换集聚类型的空间分布基本相似,但类型数量存在差异。

参考文献(References):

[1] 禹文东, 吴涛, 罗云建, 等. 城镇化进程中耕地时空格局演化及其驱动机制研究——以扬州市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 147-159. [Yu Wendong, Wu Tao, Luo Yunjian, et al. Spatiotemporal pattern evolution and driving mechanism of cultivated land in urbanization process—Taking Yangzhou City as an example[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2023, 45(7): 147-159.]

[2] 黄慧, 柯新利. 权衡耕地保护与城市扩张的永久基本农田划定——以武汉市为例[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(3): 592-604. [Huang Hui, Ke Xinli. Demarcating of permanent prime farmland for synergy of farmland protection and urban expansion of Wuhan[J]. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(3): 592-604.]

[3] 龙花楼, 曲艺, 屠爽爽, 等. 城镇化背景下中国农区土地利用转型及其环境效应研究: 进展与展望[J].地球科学进展, 2018, 33(5): 455-463. [Long Hualou, Qu Yi, Tu Shuangshuang, et al. Land use transitions under urbanization and their environment effects in the farming areas of China: Research progress and prospect[J]. Advances in Earth Science, 2018, 33(5): 455-463.]

[4] 孙钦珂, 周亮, 唐相龙, 等. 干旱区绿洲城镇扩张对耕地空间影响及预测——以河西走廊区域为例[J].自然资源学报, 2021, 36(4): 1008-1020. [Sun Qinke, Zhou Liang, Tang Xianglong, et al. Spatial influence and prediction of oasis urban expansion on cultivated land in arid areas: A case study of the Hexi Corridor[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(4): 1008-1020.]

[5] 马瑞, 范燕敏, 武红旗, 等. 耦合GMOP与PLUS模型的干旱区土地利用格局模拟[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(1): 143-153. [Ma Rui, Fan Yanmin, Wu Hongqi, et al. Simulation of land-use patterns in arid areas coupled with GMOP and PLUS models [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(1): 143-153.]

[6] Liu Y, Song W, Deng X. Understanding the spatiotemporal variation of urban land expansion in oasis cities by integrating remote sensing and multi-dimensional DPSIR based indicators[J]. Ecological Indicators, 2019, 96: 23-37.

[7] 邓祥征, 钟海玥, 白雪梅, 等.中国西部城镇化可持续发展路径的探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(10): 24-30. [Deng Xiangzheng, Zhong Haiyue, Bai Xuemei, et al. Path of sustainable urbanization in western China[J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(10): 24-30.]

[8] 尹慧慧, 毋兆鹏. 干旱区绿洲城市建设用地扩张时空格局变化特征研究[J]. 生态科学, 2023, 42(5): 231-240. [Yin Huihui, Wu Zhaopeng. Spatiotemporal change of urban construction land expansion in oasis in arid region[J]. Ecological Science, 2023, 42(5):

231-240.]

[9] 朱会义, 李义. 西北干旱区耕地扩张原因的实证分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 615-620. [Zhu Huiyi, Li Yi. An empirical analysis of the cause of farmland expansion in Northwest China[J]. Progress in Geography, 2011, 30(5): 615-620.]

[10] 迪力夏提·阿卜杜萨拉木, 阿不都克依木·阿布力孜, 周玄德, 等. 干旱区典型绿洲耕地扩张及其人文驱动研究——以新疆且末绿洲为例[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(2): 131-136, 176. [Dilshat Abdulslam, Abdulkeyum Abliz, Zhou Xuande, et al. Study on the expansion of cultivated land and its human driving forces in typical arid area oasis: A case study of Charchan oasis in Xinjiang [J]. Areal Research and Development, 2015, 34(2): 131-136, 176.]

[11] 沈谦, 朱长明, 张新, 等. 1992—2013我国干旱区城市不透水遥感制图与扩张过程分析[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(5): 1178-1186. [Shen Qian, Zhu Changming, Zhang Xin, et al. Remote sensing mapping and expansion analysis of urban impervious surface in arid areas of China from 1992 to 2013[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(5): 1178-1186.]

[12] 吴文婕, 石培基, 胡巍. 干旱区绿洲城市化发展与耕地保护协同性分析——以张掖市甘州区为例[J]. 地理科学进展, 2011, 30 (5): 621-626. [Wu Wenjie, Shi Peiji, Hu Wei. Research on the coordination between urbanization and cultivated land change in an oasis city of Ganzhou Dietrict[J]. Progress in Geography, 2011, 30 (5): 621-626.]

[13] 王敏, 胡守庚, 张绪冰, 等. 干旱区绿洲城镇景观生态风险时空变化分析——以张掖绿洲乡镇为例[J]. 生态学报, 2022, 42 (14): 5812-5824. [Wang Min, Hu Shougeng, Zhang Xubing, et al. Spatio-temporal evolution of landscape ecological risk in oasis cities and towns of arid area: A case study of Zhangye oasis township [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(14): 5812-5824.]

[14] 邹易, 蒙吉军. 干旱区绿洲-城镇-荒漠景观演变及生态环境效应[J]. 干旱区研究, 2023, 40(6): 988-1001. [Zou Yi, Meng Jijun. Evaluation of an oasis-urban-desert landscape and the related eco-environmental effects in an arid area[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(6): 988-1001.]

[15] 蒋小芳, 段翰晨, 廖杰, 等. 基于PLUS-SD耦合模型的黑河流域中游甘临高地区土地利用研究[J]. 干旱区研究, 2022, 39(4): 1246-1258. [Jiang Xiaofang, Duan Hanchen, Liao Jie, et al. Land use in the Gan-Lin-Gao region of middle reaches of Heihe River Basin based on a PLUS-SD coupling model[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(4): 1246-1258.]

[16] 吴则禹, 刘星根, 曾金凤. 基于InVEST-PLUS模型的东江源流域碳储量时空演变与预测[J]. 环境科学学报, 2024, 44(3): 419-430. [Wu Zeyu, Liu Xinggen, Zeng Jinfeng. Spatiotemporal change and prediction of carbon storage in Dongjiang River source watershed based on InVEST-PLUS model[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2024, 44(3): 419-430.]

[17] 付帅, 彭雨欣, 徐炳先. 基于PLUS与InVEST模型的鄱阳湖流域碳储量时空变化与预测[J]. 环境工程, 2023, 41(10): 163-172. [Fu Shuai, Peng Yuxin, Xu Bingxian. Spatial and temporal evolution of carbon storage in Poyang Lake basin based on PLUS and InVEST model[J]. Environmental Engineering, 2023, 41(10): 163-172.]

[18] 王想, 王春雨, 吕飞南, 等. 基于PLUS-InVEST模型的区县碳储量时空格局变化与碳汇提升策略——以延庆区为例[J]. 应用生态学报, 2023, 34(12): 3373-3384. [Wang Xiang, Wang Chunyu, Lv Feinan, et al. Temporal and spatial variations of carbon storage and carbon sink improvement strategy at the district and county level based on PLUS-InVEST model: Taking Yanqing District as an example[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34 (12): 3373-3384.]

[19] 金一诺, 黄银洲, 尤凤, 等. 基于Markov-PLUS模型的石羊河流域土地利用及生态系统服务价值模拟[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(5): 130-139. [Jin Yinuo, Huang Yinzhou, You Feng, et al. Simulation of land use and ecosystem service value in Shiyang River Basin based on Markov-PLUS model[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2024, 38(5): 130-139.]

[20] 许静, 刘慧. 甘肃省生态系统服务权衡协同关系评估与预测[J]. 中国环境科学, 2024, 44(4): 1863-1874. [Xu Jing, Liu Hui. Assessment and prediction of ecosystem services trade-offs and synergies relationships in Gansu Province[J]. China Environmental Science, 2024, 44(4): 1863-1874.]

[21] 周道媛, 王娟, 周凤娟. 基于PLUS模型多情景分析的土地利用变化及生态系统服务价值评估——以福州市为例[J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 58(3): 198-209. [Zhou Daoyuan, Wang Juan, Zhou Fengjuan. Evaluation of land use change and ecosystem service value based on mutil-scenario analysis of PLUS model—with Fuzhou City as an example[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2023, 58(3): 198-209.]

[22] 张廷, 胡玉柱, 胡海辉, 等. 基于PLUS-InVEST模型的哈尔滨市土地利用及生境质量预测[J]. 环境科学, 2024, 45(8): 4709-4721. [Zhang Ting, Hu Yuzhu, Hu Haihui, et al. Prediction of land use and habitat quality in Harbin City based on the PLUS-InVEST model[J]. Environmental Science, 2024, 45(8): 4709-4721.]

[23] 冀泳帆, 贾鲁净, 杨联安, 等. 耦合InVEST-PLUS模型的榆林市生境质量时空演变及预测分析[J]. 水土保持学报, 2023, 37(1): 123-132. [Ji Yongfan, Jia Lujing, Yang Lian'an, et al. Spatio-temporal evolution and prediction analysis of habitat quality in Yulin City coupled with InVEST-PLUS model[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2023, 37(1): 123-132.]

[24] 胡丰, 张艳, 郭宇, 等. 基于PLUS和InVEST模型的渭河流域土地利用与生境质量时空变化及预测[J]. 干旱区地理, 2022, 45 (4): 1125-1136. [Hu Feng, Zhang Yan, Guo Yu, et al. Spatial and temporal change in land use and habitat quality in the Weihe River Basin based on the PLUS and InVEST models and predictions [J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1125-1136.]

[25] 杨建新, 龚健, 高静, 等. 国家中心城市土地利用变化稳定性和系统性特征——以武汉市为例[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 701-716. [Yang Jianxin, Gong Jian, Gao Jing, et al. Stationary and systematic characteristics of land use and land cover change in the national central cities using intensity: A case study of Wuhan City [J]. Resources Science, 2019, 41(4): 701-716.]

[26] 李帅呈, 龚健, 杨建新, 等. 兰西城市群土地利用/覆被变化模式特征——基于强度分析框架[J]. 资源科学, 2023, 45(3): 480-493. [Li Shuaicheng, Gong Jian, Yang Jianxin, et al. Characteristics of LUCC pattern of the Lanzhou-Xining urban agglomeration: Based on an intensity analysis framework[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 480-493.]

[27] 李佳珂, 邵战林. 基于PLUS和InVEST模型的乌鲁木齐市碳储量时空演变与预测[J]. 干旱区研究, 2024, 41(3): 499-508. [Li Jiake, Shao Zhanlin. Spatiotemporal evolution and prediction of carbon stock in Urumqi City based on PLUS and InVEST models[J]. Arid Zone Research, 2024, 41(3): 499-508.]

[28] 傅楷翔, 贾国栋, 余新晓, 等. 耦合PLUS-InVEST-Geodector模型的新疆地区碳储量时空变化及驱动机制分析[J]. 环境科学, 2024, 45(9): 5416-5430. [Fu Kaixiang, Jia Guodong, Yu Xinxiao, et al. Analysis of temporal and spatial carbon stock changed driving mechanism in Xinjiang Region by coupled PLUS-InVEST-Geodector model[J]. Environmental Science, 2024, 45(9): 5416-5430.]

[29] 王保盛, 廖江福, 祝薇, 等. 基于历史情景的FLUS模型邻域权重设置——以闽三角城市群2030年土地利用模拟为例[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4284-4298. [Wang Baosheng, Liao Jiangfu, Zhu Wei, et al. The weigh of neighborhood setting of the FLUS model based on a historical scenario: A case study of land use simulation of urban agglomeration of the Golden Triangle of Southern Fujian in 2030[J]. Acte Ecologica Sinica, 2019, 39(12): 4284-4298.]

Influence and prediction of land use change on the space of arable land in arid zones: Taking Changji City as an example

SU Zechen, SHAO Zhanlin

(College of Public Administration, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: This study aimed to explore the impact of land use change on the space of arable land and provide a reference to optimize the land use pattern and strengthen arable land protection. Based on five periods of land use data from 2000 to 2020, the framework of land use change intensity analysis, PLUS model, and spatial autocorrelation analysis method were introduced to explore the impacts of future land use changes on the space of arable land in Changji City. The study found that land use types in Changji City were dominated by grassland, arable land, and unused land; arable and construction lands displayed a changing trend of continuous growth, and the conversion of forest and grassland to arable and construction lands and of arable land to construction land was the main feature of land use change in Changji City. Regarding conversion intensity, apparent differences were observed in the conversion intensity of each type of arable land, and the intensity of transferring in and out of the conversion intensity between arable and construction land was higher than the average. Regarding the conversion intensity, evident differences were observed in the conversion intensity between each category and arable land, and the conversion intensity between arable and construction lands was higher than the average conversion intensity; the conversion of its land use will have a more significant impact on the regional land use cover structure. The simulation results of the PLUS model indicated that the area of arable land in the natural development, arable land protection, and sustainable development scenarios decreased by 36.21 km^2, increased by 28.19 km^2, and decreased by 25.66 km^2, respectively; the sustainable development scenario was more able to consider the dual demands of economic development and arable land protection. Changes in the pattern of arable land have prominent spatial agglomeration characteristics; they are dominated by high-high agglomeration, mainly distributed in Yushugou Town, Erliugong Town, Daxiqiu Town in the central part of the city and Sanguo Town in the southwestern part of the major city. The spatial distributions of high-high agglomeration are basically similar in different scenarios, but differences exist in the number of types. Finally, relevant suggestions were made to coordinate the protection of arable land with economic development and optimize the spatial layout of land use. The results can provide a reference for balancing the relationship between financial development and arable land protection in oasis cities in arid zones.

Keywords: urbanization; cropland protection; intensity analysis; PLUS model; spatial autocorrelation; Changji